ODBITKA Z ORGANU TOWARZYSTWA NAUCZYCIELI
SZKÓŁ WYŻSZYCH. – „MUZEUM“. – R. XXXIII. 1918.

PROF. DR. T. GODLEWSKI.

Ś. P.

# MARYAN SMOLUCHOWSKI

## JEGO ŻYCIE I NAUKOWA DZIAŁALNOŚĆ

NAKŁADEM TOWARZYSTWA NAUCZYCIELI SZKÓŁ WYŻSZYCH
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE, UL. LINDEGO L. 4




# Ś. P. MARYAN SMOLUCHOWSKI,
## jego życie i naukowa działalność.

W czasie kiedy największa w dziejach ludzkości wojna, szalejąca już czwarty rok nad światem, a rozgrywająca się w tak znacznej części na ziemiach polskich, zalała nasz kraj istotnym potopem krwi i łez ludzkich, usunęła z pośród żyjących setki tysięcy ludzi w kwiecie wieku i sprowadziła nędzę i zniszczenie w materyalnym dorobku, w tym czasie spada na kraj jeszcze jedno nieszczęście, nieszczęście grożące podcięciem przyszłości umysłowych naszych zdobyczy — przychodzi, rzec można, pomór na uczonych polskich. W czasie wojny umiera tych uczonych kilkudziesięciu i to niestety umierają przedewszystkiem najwybitniejsi. Z badaczy nauk przyrodniczych zabrała nam śmierć w czasach wojennych ludzi takich jak Olszewski, Znatowicz, Nusbaum, Pawlewski, Raci-

borski, Rudzki, ludzi, którzy byli nie tylko najwyższą chlubą nauki polskiej, ale byli jej podstawą, jej przyszłością i nadzieją. Dzień 5-go września 1917 przyniósł do tych strat jeszcze nową, może najdotkliwszą i najboleśniejszą; w tym dniu umarł w Krakowie Maryan Smoluchowski, największy z polskich fizyków, jakich wogóle mieliśmy, a jeden z najwybitniejszych fizyków doby obecnej całego świata. Umarł jako bezpośrednia prawie ofiara wojny na dezynteryę, której epidemia wywołana została fatalnem odżywianiem się ludności w wycieńczonym i ogołoconym ze wszystkiego kraju.

## I.

Ś. p. Maryan Smoluchowski urodził się 28. maja 1872. w Vorder-Brühl pod Wiedniem jako syn Wilhelma wyższego urzędnika kancelaryi cesarskiej i Teofili ze Szczepanowskich. Gimnazyum ukończył w Theresianum w Wiedniu, jako uczeń celujący we wszystkich klasach i już w czasie nauki w szkole średniej okazywał niezwykłe uzdolnienie i zamiłowanie do fizyki, prowadzonej tam wówczas przez Höflera, o którego pedagogicznej działalności zawsze z najwyższem uznaniem a o osobie z największą serdecznością wspominał. W latach 1890—1894 uczęszcza na uniwersytet wiedeński, studyując fizykę pod Exnerem i Stefanem. W r. 1895 promuje się na doktora filozofii (sub auspiciis imperatoris) poczem wyjeżdża na dalsze studya za granice monarchii. Rok 1895/6 spędza w Paryżu, słuchając wykładów profesorów Poincaré, Hermite, Bouty i innych. W laboratoryum Lippmanna na Sorbonie wykonuje pracę (*3*) nad doświadczalnem sprawdzeniem prawa Clausiusa o zależności promieniowania cieplnego od współczynnika załamania ośrodka, w którym ciało jest zanurzone. Problem ten opracowuje następnie (*4*) szczegółowo w ogólniejszej niż Clausius formie i teoretycznie przyjmując, że promieniowanie wychodzi nietylko z samej powierzchni ale i z wnętrza ciała.

Pzez rok 1896/7 pracuje w Glasgowie w laboratoryum Kelvina. Z nim i z Beattie'm opracowuje w szeregu prac doświadczalnych (*5*, *6*, *7*) problem przejścia elektryczności przez gazy zjonizowane promieniami światła ultrafiołkowego, promieniami Röntgena i uranu. Z czasów tego pobytu wywozi z sobą bardzo głęboki kult dla lorda Kelvina (patrz *35*) i najżywsze, gorące uznanie dla kultury angielskiej.

W następnym roku w laboratoryum Warburga w Berlinie wykonuje pracę (*8*) nad przewodnictwem cieplnem gazów rozrzedzonych, pracę która przeszła jako klasyczna do światowej literatury naukowej, a która dla niego stanowi pierwsze ogniwo z szeregu wspaniałych późniejszych jego badań z zakresu teoryi kinetycznej materyi, badań, które imię jego miały podnieść na tak ogromne wyżyny.

W r. 1898 habilituje się do fizyki na uniwersytecie wiedeńskim, wykłada tam jednak tylko jedno zimowe półrocze, poczem przenosi swą veniam legendi na uniwersytet lwowski, gdzie mu po ś. p. profesorze Fabianie zostają poruczone wykłady fizyki teoretycznej i matematyki. W r. 1900 zostaje zamianowany na lwowskim uniwersytecie profesorem

nadzwyczajnym fizyki teoretycznej, w r. 1903 profesorem zwyczajnym; w r. 1906/7 piastuje godność dziekana wydziału filozoficznego. Rok 1905/6 spędza na urlopie w Cambridge, gdzie pracuje w sławnem laboratoryum J. J. Thomsona.

Po śmierci Witkowskiego w r. 1913 zostaje powołany na katedrę fizyki doświadczalnej uniwersytetu jagiellońskiego w Krakowie, w r. 1916/17 zostaje tamże dziekanem wydziału filozoficznego, a na rok 1917/8 zostaje (poza koleją) wybrany rektorem. Zanim rektorat ten mógł objąć, śmierć przecięła pasmo jego życia.

Nie może być mowy, aby w ramach tego szczupłego wspomnienia można było omówić wyczerpująco całą naukową działalność Smoluchowskiego; będzie to zrobione bez wątpienia na innem miejscu. Tu chciałbym nakreślić tylko ogólne kierunki jego naukowego badania i zarysować choć w najogólniejszej formie olbrzymie jego dla nauki znaczenie.

II.

Początek jego naukowej twórczości w dziedzinie kinetycznej teoryi stanowi wspomniana wyżej praca (*8*) nad przewodnictwem cieplnem gazów rozrzedzonych. Praca ta wyszła w tym czasie, kiedy wieloletnia walka między poglądem na zjawiska fizyczne opartym na klasycznej, wolnej od hipotez termodynamice a poglądem atomistycznym zdawała się prawie skończona i to jak się zdawało zupełnem zwycięstwem termodynamiki. Nie potrzeba nam hipotezy atomistycznej — wołają energetycy, którzy z prawdziwym niejednokrotnie fanatyzmem starają się hipozę tę zwalczyć, wykazać jej zbędność i nieudowodnienie realnych jej podstaw. I tak n. p. Ostwald wydaje duży podręcznik chemii, w którym ostentacyjnie nie używa ani razu słowa: atom lub cząsteczka. Jeszcze w r. 1898 Boltzmann, którego imię nieśmiertelnie związane będzie z nowoczesną teoryą kinetyczną, we wstępie do wykładów o teoryi gazów pisze, że pragnie uratować teoryą tę od zupełnego zapomnienia, które jej grozi na skutek wrogiego, przeciw niej w nauce panującego nastroju.

Dziś po latach dwudziestu mamy przeciwnie czasy najświetniejszego rozkwitu i wspaniałego wprost zwycięstwa teoryi atomistycznej i statystycznej metody badania. Podstawy atomistyki stoją dziś tak pewnie, a sama teorya okazała się tak niezbędna, tak w owocach swych zdobyczy płodna, że sceptycyzm musi przed nią zamilknąć. Jednym z pierwszych, a ważnych kroków prowadzących do odrodzenia tej teoryi była wspomniana praca Smoluchowskiego nad przewodnictwem cieplnem gazów rozrzedzonych.

Od czasów Maxwella wiadomem było, że współczynnik przewodnictwa cieplnego gazu, podobnie jak i tarcia wewnętrzego nie powinien zależyć od ciśnienia. Doświadczenia Winkelmanna a także Kundta i Warburga potwierdziły istotnie tę niezależność w dość dużym interwale ciśnień. Ale badania dwóch ostatnich uczonych wykazały, że poniżej ciśnienia 1 mm Hg. uzyskuje się wybitne zmniejszanie przewodnictwa. Nasunęła się możliwość przypuszczenia, że w tych ogromnych rozrzedzeniach, gdzie droga swobodna cząsteczek staje się bardzo duża,

występuje skok temperatury między gazem i ścianą, który pozornie przewodnictwo zmniejsza. Smoluchowski podejmuje ten problem w ten właśnie sposób; wykazuje tu zupełną analogią ze zjawiskiem ślizgania gazu bardzo rozrzedzonego wzdłuż ściany i poddaje zjawisko szczegółowemu doświadczalnemu i teoretycznemu zbadaniu (*8, 14*). Przeprowadza więc szereg precyzyjnych pomiarów szybkości ostygania termometru wstawionego do naczynia z gazem ogrzanym, podczas gdy naczynie studzone jest z zewnątrz lodem. Ze znanego przewodnictwa gazu wyrachowuje skok temperatury na granicy gazu, analogiczny do współczynnika ślizgania. Do identycznych ogólnych wniosków i rezultatów dochodzi też (*14*) inną niezależną zupełnie metodą, mierząc termoelektrycznie temperaturę płyty miedzianej zawieszonej między dwoma współosiowymi cylindrami, utrzymywanymi na stałych a różnych temperaturach, tak że pomiędzy nimi płynie przez gaz stały prąd ciepła. Zjawisko całe opracowuje (*9*) szczegółowo teoretycznie na podstawie teoryi kinetycznej gazów wychodząc z założenia Clausiusa, że energia kinetyczna (temperatura) jest własnością cząsteczek, która na rozkład prędkości nie wpływa i że cząsteczki średnio mają tę energią, która panowała w warstwie, gdzie nastąpiło ostatnie zderzenie. Na tej zasadzie obliczając przepływ ciepła między ścianami gaz zamykającemi, wyprowadza, że graniczny skok temperatury, od spadu temperatur niezależny, musi być proporcyonalny do długości drogi swobodnej. Jedną z przyczyn, które go wywołują jest niezupełne wyrównanie temperatury ze ścianą przy jednorazowem odbiciu cząsteczki, i ten właśnie czynnik szczególnie wyraźnie wystąpić musi w przypadku, gdy cząsteczki są bardzo lekkie, a więc w przypadku wodoru. Z teoryą wyprowadzoną przez niego zgadzają się najzupełniej rezultaty pomiarów jego, zarówno jak i dane zdobyte doświadczeniami dawniejszemi Winkelmanna i Schleiermachera, jak i późniejszemi Brusha. Do badań teoretycznych i doświadczalnych przewodnictwa cieplnego gazów miał wrócić Smoluchowski jeszcze kilka razy w późniejszych latach.

Odkryte zjawisko skoku temperatury, zależnego od długości drogi swobodnej można w prawdziwej istocie wytłómaczyć tylko na podstawie teoryi kinetycznej i stąd też płynie ogólne znaczenie powyższych badań dla rozwoju i odrodzenia tej teoryi. Niedługo potem idzie Smoluchowski w badaniach swych z kinetyki molekularnej jeszcze dalej i głębiej. We wspaniałej pracy (*24*) ogłoszonej w tomie jubileuszowym poświęconym Boltzmannowi wykazuje możliwość nowego sposobu kinetycznego ujmowania zjawisk zaobserwowanych w gazach. Gdy w zwyczajnej teoryi kinetycznej zdajemy sobie sprawę z odstępstw poszczególnych prędkości od prędkości średniej przez uwzględnienie prawa rozkładu, on bierze pod uwagę nierówności w przestrzennem rozłożeniu molekuł, a więc odstępstwa gęstości od średniej, czyli ustawicznie powstające zgęszczenia i rozrzedzenia. Przy pomocy rachunku prawdopodobieństwa oblicza przeciętne dodatnie lub ujemne odchylenie gęstości od normalnej wewnątrz danego elementu gazu i wykazuje, że jest ono zależne od ilości cząsteczek a ogólnie tem większe im mniejsza

uważana objętość. W tej metodzie uważania zmienia się też odpowiednio i kinetycznie wyprowadzone wyrażenie na wartość entropii, do którego wejść musi logarytm prawdopodobieństwa odpowiedniej konstellacyi także i gęstości. Z takiego sposobu uważania wynika możliwość tego, że gaz mógłby istotnie sam z siebie wykonać pracę, gdyby w odpowiednio skonstruowanej maszynie można było w poszczególnych częściach objętości, w których nastąpiły wspomniane zgęszczenia, pozwolić mu się rozprężać do gęstości normalnej. Demon Maxwella, czuwający nad tą maszyną musiałby tylko uważać nie na prędkości cząsteczek, ale na gęstości gazu w odpowiednich elementach. Rozważanie to prowadzi także, jak wykazuje i do pewnych zmian w równaniu van der Waalsa, które w zwyczajnej formie poprawne jest tylko przy bardzo dużych sferach działania cząsteczek, wogóle zaś wymaga jeszcze uwzględnienia tworzenia się zagęszczeń cząsteczek.

W pracy tej widać już wyraźnie lub w zawiązku cały szereg idei, które Smoluchowski w latach następnych rozwinie dalej w swych badaniach kinetyki molekularnej i wyprowadzi z nich tak doniosłe wnioski dla termodynamiki i naszych poglądów na zjawiska fizyczne.

Metoda ujmowania zjawisk molekularno kinetycznych z punktu widzenia odstępstw gęstości od normalnej, czyli powstawania t. zw. fluktuacyi gęstości okazała się nadzwyczaj płodna i dała w jego rękach wspaniałe rezultaty wprost do zbadania doświadczalnego dostępne. Smoluchowski zajmuje się wkrótce tym problemem bardziej szczegółowo (*33*). Wyprowadza ogólnie prawdopodobieństwo powstawania danego zgęszczenia i tegoż zgęszczenia przeciętną wielkość. Jest ono, jak wspomnieliśmy w danym elemencie tem większe im mniejsza liczba drobin, jest prócz tego zależne od współczynnika ściśliwości: tem mniejsze im większe pochylenie isotermy $\frac{\delta p}{\delta v}$. W temperaturze krytycznej przeto tendencya do miejscowych zgęszczeń i rozrzedzeń staje się bardzo wielka, a przeciętna wartość zagęszczenia stosunkowo bardzo znaczna. W tej temperaturze jest ona już niezależna od natury materyi, a zależna tylko od ilości drobin i dana równaniem $\delta = \frac{1.13}{\sqrt[4]{n}}$. W elemencie sześciennym o krawędzi równej długości fali światła zachodzić będą w temperaturze krytycznej wahania gęstości do prawie dwóch procent.

Smoluchowski zwraca odrazu uwagę, że taka ziarnistość struktury musi wywołać niejednorodność optyczną i występowanie zjawiska Tyndalla i na tych właśnie fluktuacyach gęstości opiera swoją teoryą opalescencyi materyi w stanie krytycznym. Ośrodek z taką zawiesiną ziarnistą o cokolwiek innym współczynniku załamania musi osłabiać promień wpadający w stosunku do pozornego współczynnika absorbcyi, danego wzorem Rayleigha, a zarazem wysyłać odpowiednią ilość światła rozproszonego. Występujące zgęszczenia i rozrzedzenia, które w pobliżu punktu krytycznego są tak znaczne, spowodują ogromny wzrost absorbcyi a tem samem zmętnienie i opalescencyę. W przypadku eteru, na przykład, w pobliżu temperatury krytycznej warstwa materyi 0.26 cm. gruba zredukuje

natężenie światła do połowy. Zupełnie analogicznie tłómaczy się zjawisko opalescencyi powstające w podwójnych mięszaninach cieczy gdzie również największe fluktuacye koncentracyi wystąpią przy zanikaniu obu faz w t. zw. krytycznym punkcie rozpuszczalności. Występowanie opalescencyi i zjawiska Tyndalla w roztworach kolloidalnych, uważane wprost jako charakterystyczne dla tych roztworów kryteryum, tłómaczy się również identycznie powstającemi fluktuacyami ilości cząstek kolloidalnych w danej objętości, których występowanie, jak zobaczymy później, także wprost doświadczalnie dało się stwierdzić.

Klasycznym wreszcie przykładem, do którego teorya opalescencyi Smoluchowskiego się stosuje, jest od początku świata przez ludzkość obserwowany błękit nieba. Teorya błękitu nieba Rayleigha przyjmuje, że rozproszenie światła występuje na powierzchniach drobin, które stanowią mieisca niejednorodności optycznej ośrodka. Smoluchowski uważał początkowo, że rozproszenie światła występuje wywołane i przez same drobiny i spowodowane nierównomiernością rozkładu gęstości gazu. Później jednak skłonił się raczej do przyjęcia, że oba czynniki są w gruncie rzeczy identyczne, że nie zachodzi tu przeciwieństwo treści, ile raczej metody uważania i ujęcia. Odnośny wzór Rayleigha ściśle okazał się poprawny. Co więcej, Smoluchowski w latach ostatnich potrafił doświadczalnie go sprawdzić: (*73*). Podczas gdy dotychczasowe odnośne pomiary tyczyły się extinkcyi światła w atmosferze ziemskiej, doszedł Smoluchowski do przekonania, że opalescencya gazu już nawet w warunkach normalnych da się wykazać, jeśli się weźmie dostatecznie silne światło i tło zupełnie ciemne. Wewnątrz rury bardzo starannie poczernionej przebiegała w doświadczeniach jego wzdłuż osi silna wiązka światła, odpowiednio soczewkami skupiona. Przez okienko z boku umieszczone można było obserwować i badać nikolem promienie prostopadle do kierunku biegu wiązki ugięte. W przypadku czystego zupełnie powietrza widać było przy obserwacyi z boku niebieską opalascencyę, a promienie ugięte okazały się zupełnie spolaryzowane, co wskazywało na efekt Tyndalla. Zgodnie z teoryą zjawisko występowało w wodorze znacznie słabiej, w chlorku etylu znacznie silniej.

Tym niesłychanie prostym aparatem potrafił tedy Smoluchowski wykonać jedno z najpiękniejszych doświadczeń: stworzyć w laboratoryum sztuczny błękit nieba. Doświadczenia te przeprowadził, umieszczony czasowo na skutek zajęcia zakładu fizycznego na szpital wojskowy, w pokojach dawnego mieszkania Olszewskiego, w których rodziły się kiedyś także wielkie pomysły niezapomnianych doświadczeń nad skraplaniem gazów. Prześliczna ta praca Smoluchowskiego była dopiero zaczęta, dalszy ciąg jej zapowiedziany, — niestety, śmierć ją przerwała.

Teoryę fluktuacyi gęstości, która w tak piękny sposób pozwoliła wyjaśnić zjawiska opalescencyi, można było poddać bezpośredniej doświadczalnej kontroli, a to mianowicie przez porównanie z rezultatami otrzymanymi przez obliczenie ilości cząstek kolloidalnych w danem polu widzenia ultramikroskopu. Doświadczenia te przeprowadzane przez Svedberga, Ilijna i innych dały rezultaty wprost imponująco zgodne z wzo-

rami Smoluchowskiego. Średnia wahania wyliczona przez niego (*63*) zgadzała się najzupełniej ze średnią wyliczoną z setek pomiarów, podobnie jak prawdopodobieństwo danego odstępstwa, czy czas jego powrotu wyliczony teorytycznie miał wartość bez mała identyczną, jak doświadczalnie znaleziona.

Ale badania kinetyczno molekularne Smoluchowskiego otworzyły dla nauki jeszcze w r. 1906 r. zupełnie nowe i rozległe dziedziny. Oddawna znanem było w nauce, że drobniutkie cząstki zawieszone w cieczach wykonują ruchy trzęsące się, ogólnie tem szybsze im same są mniejsze, z prędkością zależną od lepkości cieczy, ogólnie jednak niezmienną w czasie i niezależną od warunków zewnętrznych jak parowanie, naświetlenie i t. p. Ruchy te odkryte w r. 1827 przez Browna i od niego nazwane, były w naturze swej niewyjaśnioną zagadką, mimo że spotykano się z nimi bardzo powszechnie. Smoluchowski rozwiązuje tę zagadkę i podaje dla tych ruchów ogólną teoryę (*29*), którą następnie w szeregu wspaniałych prac i w drobnych szczegółach i różnych warunkach opracowuje. Stawia on odrazu wyraźne założenie, że ruch ten nie jest spowodowany żadną energią zewnętrzną, ani prądami konwekcyjnymi. Uważa natomiast, że cząstkom ruch ten zostaje udzielony przez ruch cieplny drobin cieczy, uderzających o ciałko w cieczy zawieszone. Rzecz się ma tu podobnie jak przy grze, gdzie wobec równych szans zysku i straty wygrana lub strata nie będzie równa jednorazowej stawce, ale ogólnie im gra dłuższa tem przeciętna strata lub zysk będą większe. Rachunkiem prawdopodobieństwa wykazuje, że przeciętne zboczenie w jedną lub drugą stronę $v = \sqrt{\frac{2n}{\pi}}$, gdzie $n$ przedstawia (dużą) liczbę rzutów gry, zależeć będzie tylko od ilości rzutów tej gry i z nią w powyższy sposób wzrastać. Podobnie się rzecz będzie miała z uderzeniami cząsteczek cieczy o zawieszoną w cieczy kulę. Jakkolwiek uderzają one we wszystkich możliwych kierunkach, jakkolwiek prędkość kuli pod uderzeniem jednej drobiny będzie nadzwyczaj mała, to przecież gdy $10^{20}$ cząsteczek kulę uderzy, pozostanie pewna liczba (w powyższy sposób od $n$ zależna) uderzeń niezrównoważonych, które kuli nadadzą pewną już dostrzegalną, prędkość. Smoluchowski oblicza w bardzo piękny i elegancki sposób przeciętną wartość odległości środka kuli od początku współrzędnych po $n$ uderzeniach i to w dwóch przypadkach: Gdy promień kuli jest mały w stosunku do drogi swobodnej; wtedy droga zakreślona przez kulę w danym czasie zależeć będzie od rodzaju ośrodka i od częstości uderzeń zależnej od rozmiarów kuli. Przypadek ten stosuje się do cząsteczek zawieszonych w gazach, do ruchów tańczących, które wykonują cząstki dymu, par salmiaku, kwasów i t. p. (Bodaszewski). Jeżeli zaś promień kuli nie jest mały w porównaniu z drogą swobodną cząsteczek (zawiesiny w cieczach), wtedy warstwy ośrodka biorą do pewnego stopnia udział w ruchu kuli. Wtedy prędkość zależy także i od lepkości ośrodka, ale zarówno i teraz jak i w poprzednim przypadku nie zależy zupełnie od masy kuli.

Do zupełnie podobnych wzorów (różnica jest tylko we współczynniku liczbowym) doszedł o kilka miesięcy wcześniej Einstein drogą najzupełniej odmienną, wychodząc w swych obliczeniach z ciśnienia osmotycznego cząstek.

W powyższy sposób wyjaśniony ruch Browna daje wprost bezpośredni dowód prawdziwości hipotezy molekularno kinetycznej obecnej fizyki. To też teorya ta ruchów Browna postawiona przez Smoluchowskiego i Einsteina miała już z punktu widzenia ogólnego dla teoryi kinetycznej a więc i dla poglądów naszych ogólnych na zjawiska fizyczne wprost epokowe i pierwszorzędne znaczenie. Dane teoretycznie obliczone znalazły w szczegółowych pomiarach przesunięć kropelek gumigutty robionych przez Perrina i jego uczniów najpełniejsze doświadczalne potwierdzenie. Makroskopowo uważany skutek ruchu Browna jest niczem innem jak zwykłą dyfuzyą, do której wyjaśnienia przy uwzględnieniu tego ruchu jako istotnej efektywnej przyczyny nie potrzeba już, jak wykazuje Smoluchowski, zwyczajnie używanego pojęcia: spadku osmotycznego ciśnienia.

Teorya tak pojętego ruchu Browna stanowiła bezpośrednią podstawę jednego z najpiękniejszych i najdonioślejszych obliczeń nowoczesnej fizyki w ostatnich lat dziesiątkach, pozwoliła mianowicie z nieporównaną dokładnością wyliczyć jedną z najważniejszych w fizyce i chemii stałych t. zw. stałą Avogadry (t. j. ilość drobin w jednym centymetrze sześciennym gazu) na podstawie rozkładu cząstek jednorodnej emulsyi w polu ciężkości. Cząstki takie poruszane ruchem Browna rozłożą się w stanie statycznym, jak to zupełnie niezależnie od siebie Einstein i Smoluchowski teoretycznie wykazali zupełnie analogicznie jak cząstki powietrza w otaczającej nas atmosferze, a więc ułożą się tak, że ilość ziarn w warstwach leżących ponad sobą maleć będzie exponencyalnie z wysokością warstwy. Różnica z rozkładem gęstości powietrza w atmosferze będzie tylko ilościowa, zależna od ciężaru cząstek i od gęstości ośrodka, w którym są zanurzone. Na tej podstawie, opierając się na teoryi Einsteina i Smoluchowskiego, potrafił Perrin ze swymi uczniami przez zmierzenie szybkości malenia ilości ziarn jednorodnej emulsyi z wysokością wyliczyć tę fundamentalną dla chemii i fizyki stałą z dokładnością o jakiej Loschmidt może nigdy nawet nie marzył.

Teoryę ruchu Browna opracowuje Smoluchowski w dalszym ciągu coraz gruntowniej i szczegółowiej. Rozważa więc wpływ i działanie ścian, *(57, 70)*, ruch Browna cząstek poddanych działaniu sił zezwnętrznych a więc jak w doświadczeniach Perrina siły stałej, lub jak w przypadku teorytecznie bardzo ważnym bo stanowiącym przejście do stanu statycznego, ruch cząsteczek poddanych działaniu siły sprężystej, rosnącej z odchyleniem. W związku z tymi problemami zajmuje się szczegółowo teoryą prawa Stokesa, ruchu kuli w ośrodku lepkim, poddaje tę teoryę dokładnej rewizyi *(54)* i wskazuje na poprawki, które trzeba uwzględnić. I tak, rozpatruje kwestyę ślizgania się w związku z badaniami Arnolda nad ruchem banieczek gazu poruszających się w cieczy, bierze pod uwagę ruch kuli ciekłej (problem opracowany za

jego inicyatywą przez Rybczyńskiego [1]), uwzględnia wpływ ścian (rzecz opracowaną za jego inicyatywą przez Stocka [2]), przez niego szczegółowo opracowany wpływ innych cząstek *(46)*, rozważa ruch całych chmur i wpływ ułożenia cząstek. Badania te teoretyczne nad granicą stosowalności prawa Stokesa, tak ważnego dla określenia naboju elektronowego, były także i ze względu na znane nowsze badania Ehrenhafta i Millikana jak najbardziej na czasie.

Badania powyższe nad ruchami Browna, występującymi typowo w przypadku kolloidów, wyrobiły Smoluchowskiemu imię pierwszorzędnego na świecie teoretyka także w zakresie chemii kolloidalnej. To też w r. 1916 prof. Zsigmondy z Getyngi przesyłając mu swój materyał doświadczalny, zwrócił się do niego z zaproszeniem, aby sprobował opracować teoryę koagulacyi kolloidów pod działaniem elektrolitów, najważniejszy może problem chemii kolloidalnej, a teoretycznie dotąd nietknięty. Jakoż Smoluchowski w bardzo niedługim czasie rozwiązał teoretycznie ten problem *(75, 76, 82)* w sposób prawdziwie mistrzowski: Przyjmując, że ruch Browna cząstek, kolloidalnych odbywa się bez przeszkody jak długo dwie cząstki nie zbliżą się poniżej pewnej odległości $R$, oblicza jaka będzie ilość cząstek które po czasie $t$ do jakiejkolwiek innej cząstki poniżej tej odległości jeszcze się nie przysunęły. Rachunek ten przeprowadza najpierw w założeniu, że dana cząstka jest nieruchoma, uogólnia go do przypadku, gdy i ona odbywa ruch Browna, wprowadza nakoniec jeszcze poprawkę na zmniejszenie liczby cząstek w uważanym czasie. Na tej zasadzie wyrachowuje czas potrzebny do tego, aby ilość cząstek na skutek koagulacyi zmalała do połowy, czas, który okazuje się zależnym od $R$ (będącego rzędu wielkości promienia cząstek), od współczynnika dyfuzyi i wreszcie od ilości cząstek w chwili $t = O$ w roztworze obecnych. Teoretycznie obrachowane wartości dały wprost idealną zgodność z danemi doświadczalnemi Zsigmondy'ego, który liczył pod ultramikroskopem w różnych czasach po dodaniu elektrolitu ilości nieskoagulowanych jeszcze cząstek. Teoryę tę postawioną dla przypadku koagulacyi szybkiej, występującej po dodaniu dużej ilości elektrolitu, uogólnia Smoluchowski i do przypadku koagulacyi wolnej przy mniejszej ilości elektrolitu, przy której występuje, jak przypuszcza, niezupełne zniesienie warstwy podwójnej. I w tym przypadku wyniki teoryi zostały najzupełniej potwierdzone doświadczeniami Zsigmondy'ego. Cała ta teorya stworzona całkowicie przez niego, znalazła zatem odrazu najpewniejszy fundament, bo sprawdzenie w eksperymencie; ma ona zaś tem większe znaczenie, że była pierwszą i to odrazu tak owocną próbą teoretycznego ujęcia tych tak doniosłych dla chemii kolloidalnych problemów.

Jedną z najczęściej stosowanych metod przy badaniu własności kolloidów, jest badanie lepkości. Smoluchowski zajął się też bliżej i teoryą lepkości kolloidów (*72*), a rozpatrujac szczegółowo odnośną formułę Einsteina, wykazał m. i., że niezależność lepkości od stopnia dyspersyi nie

[1]) Rybczyński: O ruchu postępowym kuli ciekłej w ośrodku lepkim. Rozpr. Ak. Um. w Krakowie. r. 1911. str. 5.

[2]) Stock: Ueber die Bewegung einer Kugel in einem zähen Medium längs einer ebenen Wand. Bullet. Acad. Cracov. p. 18.

jest w sprzeczności ze znacznym wzrostem tarcia wewnętrznego przy koagulacyi, bo w tym przypadku zmienia się kształt kompleksów, które przestają być kulami.

III.

Ale rezultaty tych badań molekularno kinetycznych Smoluchowskiego miały jeszcze głębsze i najzupełniej ogólne dla poglądów naszych na zjawiska fizyczne znaczenie. Ruch Browna w swojej istocie jest klasycznym przykładem zjawiska sprzecznego z II-gą zasadą termodynamiki, tak jak się ją definiuje zwykle, bo przecież otrzymujemy ten ruch wprost bezpośrednio z ciepła otoczenia, a więc z ciepła bez spadu temperatur. Jak więc tę rzecz zrozumieć? W całym szeregu prac i odczytów *(55, 58, 59, 61, 65, 68)*, które stanowią prawdziwą koronę jego naukowej twórczości, zajmuje się Smoluchowski granicą stosowalności drugiej zasady termodynamiki, jej poprawnem sformułowaniem i istotą zjawisk nieodwracalnych.

Podstawowe pojęcia kinetyki nie zgadzają się właściwie z poglądem o wzrastaniu entropii, żądają one bowiem zasadniczo odwracalności zjawisk. I istotnie przy uważaniu omawianych powyżej zjawisk molekularnych, ruchów Browna, czy zagęszczeń cząstaczek gazu, cieczy czy emulsyi widzimy zamiast nieodwracalnej martwoty stanu równowagi wieczne życie fluktuacyi odwracających się w jedną czy drugą stronę. Przy obserwacyi natomiast zjawisk rzeczywistych w makrostanach widzimy tymczasem nieubłaganą nieodwracalność w myśl wzrastania entropii. Rzecz tę ujmuje Smoluchowski w ten sposób: W przypadku mikrostanu będziemy mieli jakby peryodyczność, czyli zawsze będzie czas skończony, po którym nasz układ wróci dowolnie blisko do stanu pierwotnego. Obserwowany makrostan natomiast, w którym nie chodzi już o indywidua molekuł, będzie się także powtarzał, ale nie każdy równie często. Najczęściej wystąpią tu te stany, które dadzą się wytworzyć przez największą liczbę permutacyi jednakowych mikrostanów, będą to stany odpowiadające maximum molekularno statystycznego prawdopodobieństwa-maximum entropii. Będzie to stan termodynamicznej równowagi, stan normalny, najczęstszy. Ale nie będzie to stan martwy. Będą bowiem zdarzały się i stany, jakkolwiek znacznie rzadziej, odpowiadające i mniejszej liczbie permutacyi mikrostanów, które będą przedstawiać odstępstwo od stanu normalnego, stany anormalne, którym przypisać trzeba mniejszą chwilową wartość entropii. O ile te odstępstwa przekraczają wartość średniego wahania, które ogólnie będzie tem mniejsze, im większy układ weźmiemy pod uwagę, o tyle stają się mało prawdopodobne, wtedy więc zachodzić będą rzadko. Zasadniczo jednak sa możliwe, co więcej, z pewnością występują ciągle. A zatem możliwe jest zjawisko, które pociąga za sobą zmniejszenie entropii, możliwe zamienienia ciepła otoczenia na energię mechaniczną, możliwe samo przez się zgęszczenie gazu czy emulsyi, które moglibyśmy wykorzystać, zamieniając na pracę.

Wobec tego nasuwa się pytanie, czy niemożnaby skonstruować perpetuum mobile II-go rodzaju. Na całym szeregu bardzo interesujących

i pomysłowo obmyślonych przykładów rozpatruje Smoluchowski bliżej to doniosłe zagadnienie. Tak więc np. przegroda w naczyniu z gazem lub emulsyą zaopatrzona w jednostronnie otwierający się wentyl, umożliwiłaby w zasadzie wykorzystanie wytworzonych automatycznie różnic ciśnienia. Albo, na cieniutkiej nitce zawieszone kółko zębate i połączony z nim zatrzask, dopuszczający obrót koła tylko w jedną stronę powinienby udostępnić wykorzystanie fluktuacyjnych wahań nitki koło położenia równowagi (fluktuacye takie i poza tem Smoluchowski szczegółowo teoretycznie opracowuje) i przedstawiałby pozornie trwałe źródło pracy. Podobnie np. fluktuacye gęstości powietrza w kondensatorze powinny wywołać zmiany pojemności a stąd indukcyjne prądy elektryczne. Otóż Smoluchowski wykazuje, że takie maszyny jednak w rzeczywistości byłyby nie wykonalne. Jeśli sprężyny czy wentyle, które miałyby kierować przebiegiem zjawiska, miałyby automatycznie działać, to musiałyby być tak wiotkie i podatne, że same wykonywałyby ruch Browna a wskutek tego nie działałyby jednostronnie. Tego rodzaju perpetuum mobile mogłoby chyba funkcyonować pod nadzorem istoty zdającej sobie stale sprawę z zachodzących nadzwyczajnych stanów, byłby więc do tego niezbędny rozumiejący demon Maxwella, żadne zaś automaty ani mechaniczne ani elektryczne takiego demona zastąpić nie mogą.

Z rozważań tych widać jednak odrazu, że zwyczajne definiewanie drugiej zasady nie było poprawne. Nie można powiedzieć, że entropia może tylko wzrastać bo może ona i maleć. Wykorzystanie odstępstw i fuktuacyi koło stanu równowagi może nam dać pracę na koszt ciepła otoczenia, tylko nie trwale. Wobec tego stawia Smoluchowski następującą definicyę drugiej zasady: Nie może być maszyny automatycznie działającej, króraby trwale skończoną pracę dawała, czerpiąc ciepło z najniższej temperatury. Albo $\lim_{t=\infty} \frac{A}{t} = 0$ t. zn. stosunek, pracy uzyskanej na koszt ciepła otoczenia do czasu zużytego dąży do zera dla nieskończenie długiego czasu, innemi słowy, maszyna taka, w zasadzie możliwa, nie mogłaby działać stale, czyli jej dzielność byłaby równa zeru.

Ale z całą tą kwestyą bezpośrednio i najściślej związany jest pogląd na istotę zjawisk nie odwracalnych. Smoluchowski rozpatruje powstawanie zagęszczeń, wogóle fluktuacyi, także z punktu widzenia szybkości tych fuktuacyi i rozważania czasu powrotu danego zjawiska. Nasze orzeczenie, czy zasada wzrastania entropii jest stosowalna, innemi słowy, czy dane zjawisko jest nieodwracalne, zależy i od długości czasu naszej obserwacyi. I można powiedzieć, że dane zjawisko w y d a s i ę nam odwracalne lub nie, zależnie od tego czy czas powtórzenia się zjawiska, czas jego powrotu jest krótki lub długi. Ale ten czas powrotu zależy także i od rozmiarów elementu, w którym dane zjawisko obserwujemy. A więc n. p. zwykła dyfuzya gazów czy cieczy uważana jest jako zjawisko klasycznie nieodwracalne ponieważ przy makroskopowej obserwacyi widzimy zawsze tylko samodzielne mięszanie się gazów, a nie widzieliśmy nigdy odmięszania. Na przykładzie tlenu zmięszanego z azotem wykazuje Smoluchowski wyraźnie, jak jednak pojęcie nieodwracal-

ności tego zjawiska jest względne i jak zależy od długości czasu naszej obserwacyi, względnie rozmiarów elementu, w którym gaz uważamy. Oblicza on mianowicie prawdopodobieństwo samodzielnego odmięszania się tych gazów takiego, by koncentracya jednego gazu wewnątrz uważanego elementu wzrosła o 1% ponad normalną. Okazuje się, czas powrotu $\theta$ tego odstępstwa od stanu równowagi zależy w niesłychanej mierze od rozmiarów elementu, który bierzemy pod uwagę. I tak znajdujemy następujące czasy $\theta$ w zależności od promienia kuli elementu $a$.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $a$ = | 1 *cm*, | $3.10^{-5}$ *cm*. | $2{\cdot}5.10^{-5}$ *cm*, | $1.10^{-5}$ *cm*, |
| $\theta$ = | $10^{(10^{14})}$ *sek*., | $10^{6}$ *sek*., | 1 *sek*., | $10^{-11}$ *sek*., |

Przykład ten maluje doskonale tę olbrzymią względność naszych orzeczeń co do odwracalności zjawisk: Im większa liczba drobin tem mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia danego anormalnego stanu, to też przez miliardy miliardów wieków nie powtórzy się w wielkich rozmiarach to samo zjawisko, które powtarza się biliony razy w sekundzie w małym elemencie, gdzie znika wszelki nawet ślad nieodwracalności. W makroskopowej obserwacyi nie stwierdzamy przeto odwracalności nie dlatego, że jej nie ma, tylko dlatego, że na skutek jej małego prawdopodobieństwa występuje ona tak rzadko, że życie nasze jest wiele za krótkie, abyśmy ją mogli stwierdzić. Jesteśmy — powiada Smoluchowski *(58)* — w naszej krótkowzroczności podobni do owych kwiatów, które na wiosnę się budzą pod wpływem wzrastającego ciepła słonecznego i podczas swego krótkiego życia zapewne i to uważają za dogmat, że klimat wszechświata ze stanu zimniejszego przechodzi w stan cieplejszy. O tem, że kiedyś powróci jesień i zima nigdy się nie dowiedzą. —

A więc w gruncie rzeczy wszystkie zjawiska są odwracalne, a ich zwyczajnie obserwowana nieodwracalność jest tylko p o z o r n a, płynąca z naszej obserwacyi krótkiej lub powierzchownej.

Znaczenie tych wniosków jest, jak odczuć łatwo, dla nauki wprost olbrzymie. Jeśli w poszukiwaniu prawdy, którą ma nam dać badanie przyrody, staramy się znaleść tę prawdę możliwie czystą i absolutną, to ogromny wprost krok naprzód stanowić będą te badania, które olbrzymią potęgą ducha ludzkiego potrafią uwolnić nasze poglądy od tego co jest skończone, ograniczone, od tego co jest ludzkie, A przecież najwyższym, zwyczajnie niedościgłym ideałem, będzie przy badaniu przyrody poznanie nie tego, co się ludziom wydaje, ale tego, co rzeczywiście jest, a wyzwolenie naszego poznania od pierwiastka ludzkiego, o ile to tylko jest możliwe, jest najwyższym szczytem, do którego wiedza wzbić się może, a każdy istotny krok w tym kierunku naprzód jest dla ducha twórcy najwyższym zaszczytem, a dla nauki wprost nieśmiertelną zdobyczą. I w tem właśnie leży to olbrzymie znaczenie dotyczących badań Smoluchowskiego.

Takie są w najogólniejszych zarysach rezultaty badań Smoluchowskiego w ulubionej przez niego dziedzinie kinetyki i statystyki molekularnej. A ileż prócz tego problemów w pracach swych on poruszał!

## IV.

W pierwszej swej pracy wykonanej jeszcze w Wiedniu *(1)* wykazuje doświadczalnie, że lepkość rozpuszczalników niewodnych zostaje powiększona nietylko przez dodanie takich substancyi, które lepkość wody zwiększają ale i takich, które lepkość wody zmniejszają, jakkolwiek dyssocyacya elektrolityczna w tych niewodnych roztworach jest minimalna.

Opierając się na pomiarach akustycznych wysokości tonów drgających prętów złożonych oblicza *(2)* pośrednio moduł sprężystości, moduł skręcenia i współczynnik Poissona dla całego szeregu ciał miękkich także w zależności od temperatury i rozpatruje bliżej teoretycznie otrzymane rezultaty.

Zajmuje się głębiej (*21, 27, 60*) teoryą endosmozy Helmholtza, która znacznie uogólnia tak, że w podanej przez niego formie stosować ją można nietylko do najprostszego przypadku rurek Poiseuillea ale i do rurek szerszych dowolnych kształtów, diafragm glinianych (Wiedemann) wreszcie do ruchu opiłek siarki, szelaku (Quincke), a więc do zjawiska odwrotnego endosmozie t. j. do zjawiska kataforezy. W tym przypadku wykazuje, że szybkość ruchu zawiesin musi być rzędu szybkości jonów. Za jego inicyatywą zajmuje się tymi problemami bliżej i Stock[1]), który doświadczalnie i teoretycznie bada spadek potencyału i grubość warstwy podwójnej przy endosmozie i przy spadaniu ciał stałych w cieczach.

W obszernej pracy o zjawiskach aerodynamicznych *(20)* wyprowadza zasadnicze równania aeromechaniki bez hipotezy molekularnej, a tylko z założenia, że siły tarcia wewnętrznego są proporcyonalne do prędkości deformacyi elementarnej z uwzględnieniem poprawki tyczącej się niestałości wszędzie temperatury. Wykazuje użyteczność metody podobieństwa dynamicznego, która pozwala wniknąć głębiej i ująć bardzo prosto mechanizm wielu zjawisk. Opracowuje tu szereg przykładów, jak ruch gazów między walcami nieruchomymi lub między jednym walcem stałym a drugim rotującym, ruch w rurkach Poiseuillea, ruch dookoła kuli stałej, zjawisko wypływu gazów, szczegółowo zjawisko Joulea-Kelvina. Opracowaje dalej teoryę *(30)* ruchu cieczy lepkich w przypadku, gdy przestrzeń ruchu rozciąga sie do nieskończoności. Rozpatruje teoretycznie a także w bardzo piękny i prosty sposób doświadczalnie *(26)* tworzenie się żył w cieczy, przez obserwacyę ruchu cieczy zabarwionej wypływającej przez wązki otworek. Wykazuje, że tworzenie się żył, zmniejszenie się rozbieżności, występuje już przy bardzo małej prędkości, a rozerwanie dopiero przy bardzo wielkiej. Zajmuje się bliżej teoryą równania van der Waalsa *(41, 79)*, opracowuje z punktu widzenia kinetyki molekularnej jeszcze gruntowniej i szczegółowiej *(42)* teoryą zjawisk dyfuzyi, efuzyi, atmolizy i przewodnictwa cieplnego gazów rozrzedzonych.

[1]) **Stock: Ueber Oberflächenleitung und Dicke elektrischer Doppelschichten, Bulet. Academ. Cracov. 1912. p. 635. Ueber die durch Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten hervorgerufenen elektroosmotischen Potentialdifferenzen; Bulet. Acad. Cracov. 1913 p. 131.**

Wychodząc z odkrytego i opracowanego przez siebie zjawiska skoku temperatury na granicy gazu, o czem powyżej mówiliśmy, który to skok tem silniej pozornie zmniejsza przewodnictwo im mniejsze są rozmiary warstwy powietrza, bada zarówno teoretycznie jak i doświadczalnie (*39*, *43*, *50*) przewodnictwo cieplne proszków w gazie o małem a znanem ciśnieniu. Jako proszków używa krzemionki, pyłu cynku, żelaza, miedzi, lycopodium i t. p. Wykazuje się że przewodnictwo cieplne proszku zależy od natury i ciśnienia gazu, a dalej od wielkości, kształtu i ułożenia ziarn. Skok temperatury usprawiedliwia mniejsze przewodnictwo proszku z gazem niż gazu samego. Gdy usunie się gaz zupełnie i bada proszek w próżni uzyskuje się wprost olbrzymie zmniejszenie przewodnictwa, które w tym przypadku pochodzi tylko od przewodzenia z ziarna do ziarna i od promieniowania. Smoluchowski, określa dokładnie także i doświadczalnie to przewodnictwo i wykazuje, że Dewar wypełniony wypróżnionym proszkiem izoluje od straty ciepła nieporównanie lepiej, niż gdy między podwójnemi ścianami jest tylko próżnia jak w Dewarach zwykłach. Na tę zupełnie nową zasadę konstrukcyi izolatorów cieplnych, składających się z naczyń o podwójnych ściauach wypełnionych wypróżnionym proszkiem Smoluchowski uzyskuje nawet szereg patentów, ponieważ rzecz ta ma i techniczne pierwszorzędne znaczenie. Jest to jeden z tych pięknych przykładów wynalazku technicznego nie przypadkowego, nie znalezionego ślepem doświadczalnem probowaniem, ale wyprowadzonego jako ścisła konsekwencya stworzonej przez siebie i opracowanej teoryi. W przypadku proszków metalicznych wykazuje Smoluchowski, że znane prawo Wiedemanna-Franza nie ma tu zastosowania, a przewodnictwo elektryczne jest nieporównanie mniejsze niżby z przewodnictwa cieplnego oczekiwać można, czego przyczynę możnaby widzieć albo w powierzchownych warstwach tlenków, albo w odpowiednim, nie powierzchniowym rozmieszczeniu wolnych elektronów.

Smoluchowski, który był jednym z najwytrawniejszych i najzapaleńszych polskich taterników i alpinistów, zajmuje się i teoryą powstawania gór (*34*, *36*). Opracowuje bliżej poruszony przez Kirchhoffa problem płyt pływających i wykazuje, że taka płyta poddana horyzontalnemu ciśnieniu pozostaje płaska, jak długo ciśnienie to nie przekroczy pewnej wartości. O ile ciśnienie tę wartość przekroczy, wystąpi sfałdowanie w formie sinusoidy, która to forma odpowiada równowadze stałej, dla której energia potencyalna jest minimum. Liczba wygięć (półfałd) zależy od rozmiarów i jakości płyty, ale bynajmniej nie od ciśnienia, którego wielkość warunkuje tylko wysokość fałdy. Celem sprawdzenia tej teoryi wykonuje doświadczenia, porywające wprost swą prostotą, nad powstawaniem fałd w płytach z żelatyny, złota, staniolu, gutaperki, szelaku itp. pływających na rtęci lub wodzie. Ilość fałd, ich długość, amplitudy okazały się najzupełniej zgodne z teoryą (*37*).

Zajmuje się problemem erozyi lodowców (*40*) przyczem wykazuje, że brak znajomości współczynnika tarcia nie pozwala na pewne postawienie i określenie odnośnej teoryi i to zarówno wtedy, gdy się przyjmuje lodowiec jako stałą płytę, jak i wtedy, gdy ciśnienie jego traktuje się jako hydrostatyczne.

Wychodząc z zasad teoryi kinetycznej, zastanawia się nad wysokością atmosfery ziemi i planet *(15, 18)*. Wykazuje, że stale pewne cząstki gazów muszą ulatywać we wszechświat, inne w obręb ziemi się dostawać. Uwzględniwszy w teoretycznych rozważaniach wpływ promieniowania, a przedewszystkiem tarcia wewnętrznego (niezależnego od ciśnienia) dochodzi do przekonania że cała przestrzeń międzyplanetarna wypełniona jest gazem nadzwyczaj rozrzedzonym, o temperaturze bliskiej absolutnego zera, który się zgęszcza w bliskości planet.

Jak widać już z tego ogólnikowego nawet przedstawienia, Smoluchowski, który był w pierwszym rzędzie kinetykiem, był przecież niezwykle wszechstronnym, a zakres jego zdobyczy naukowych obejmuje najróżniejsze, bardzo sobie nawet odległe dziedziny filozofii przyrody.

## V.

Rezultaty badań swych twórczo naukowych publikuje Smoluchowski (w czterech językach) w najróżniejszych pismach naukowych krajowych i zagranicznych. Prócz tego przedstawia je sam na zjazdach naukowych w Polsce i zagranicą, a wykłady te ogłoszone później drukiem stanowią prawdziwe arcydzieła w swoim rodzaju. W każdym zjeździe przyrodników i lekarzy polskich od r. 1900 we Lwowie czy Krakowie bierze czynny udział *(19, 32, 51,)*. W r. 1910 przedstawia zasadę wspomnianego powyżej pomysłu izolatorów cieplnych z proszkiem wypróżnionym na kongresie międzynarodowym zimna w Wiedniu *(43)*. W r. 1912 mówi na międzynarodowym kongresie matematycznym w Cambridge *(54)* o stosowalności prawa Stokesa, w tymże roku na zjeździe przyrodników w Monasterze *(55)* o zjawiskach molekularnych sprzecznych z drugą zasadą termodynamiki. W kwietniu r. 1913. zaproszony na jednego z sześciu prelegentów do cyklu wykładów z teoryi kinetycznej materyi, cyklu urządzonego staraniem zarządu fundacyi Wolfskehla w Getyndze, mówi tamże *(59)* o granicach ważności drugiej zasady termodynamiki. W lipcu r. 1916. zaproszony przez zarząd tejże samej fundacyi wygłasza w Getyndze trzy wykłady o kolloidach *(75)*, gdzie prócz poglądu na dawniejsze swe badania nad dyfuzyą i ruchem Browna przedstawia nowo opracowaną przez siebie teoryę koagulacyi kolloidów.

Pozatem znajduje Smoluchowski czas i na wydanie szeregu krytycznych i poglądowych większych monografii, gdzie własne jego badania występują na tle przez niego skreślonego i przedziwnie wprost jasno ujętego stanu nauki współczesnej w danym zakresie wiedzy. Tak pisze o przewodnictwie cieplnem gazów *(13)*, o nowszych postępach na polu teoryi kinetycznych materyi *(19)*; jako jeden z współpracowników wielkiego podręcznika: Handbuch d. Elektrizität u. d. Magnetismus, wydawanego pod redakcyą Grätza u Bartha w Lipsku, pisze rozdział o elektrycznej endosmozie *(60)*, nad której teoryą sam tak owocnie pracował. W przepięknem wreszcie zestawieniu w monografii, pomieszczonej w tomie pamiątkowym dla śp. Witkowskiego: O fluktuacyach termodynamicznych *(61)* — daje rezultaty najważniejszych zdobyczy badań nad ruchami Browna i stosowalnością drugiej zasady termodynamiki.

Pozatem pozostawia cały szereg szkiców, pochodzących zwyczajnie z różnych okazyjnych wykładów, pisanych przeważnie po polsku, dostępnych i dla nie fachowców z najnowszych badań szczególnie na polu atomistyki *(31, 47, 56, 58)*. Szkice te pozostaną prawdziwemi perłami naszej popularno naukowej literatury, będąc wprost mistrzowskimi wzorami tego, jak można o rzeczach trudnych, pisać w sposób naukowo głęboki i ścisły, dla czytelnika jasny i przejrzysty, a literacko wprost artystycznie piękny.

Na polu pedagogiki fizycznej nieśmiertelnym pomnikiem, który po sobie Smoluchowski zostawił będzie zawsze drugi tom „Poradnika dla samouków“, którego znaczną część wypełnia opracowana przez niego: Fizyka, *(77)*. Dziś gdy nauka jest tak olbrzymia, kiedy jej rozwój postępuje tak nadzwyczaj szybko, wysuwa się jako rzecz pierwszorzędnej wagi nietylko to, aby wiele siebie czy innych uczyć, ale i to aby umieć siebie i innych uczyć. A w tym kierunku znajdzie się w tym tomie prawdziwe skarby wskazówek.

We wstępie mówi Smoluchowski o ogólnych zadaniach fizyki, o celu tej nauki, o jej metodach, o znaczeniu teoryi i hipotezy, o podziale fizyki i jej stosunku do innych nauk przyrodniczych. Część główna obejmuje zasady dydaktyki, względnie autodydaktyki, przyczem nauka podzielona jest na trzy stopnie, z których każdy traktowany jest oddzielnie. Jak człowiek, stojący na takich wyżynach potrafił się zniżyć do stopni niższych, pozostanie, rzec by można, zagadką; ale potrafił. I jak ważne, jak doniosłe rady są tam zawarte! Jak widać w nich tak głębokiego pedagoga i prawdziwego całą duszą przyrodnika! „Podręczniki fizyki elementarnej powinny służyć do tego, żeby się z nich nie uczyć! Nauka fizyki powinna się przedewszystkiem opierać na samodzielnej obserwacyi przyrody i własnoręcznem doświadczeniu ucznia“. Jak niestety daleko jesteśmy od tego prawdziwego ideału!

Przechodząc metody uczenia się i nauczania we wszystkich stopniach podaje Smoluchowski najszczegółowiej literaturę, wskazując wszędzie porządek jak z niej czerpać i jakie ma być pomocnicze, w szczególności matematyczne wykształcenie. Literatura od najprostszej do najwyższej omówiona jest z nadzwyczajną dokładnością i starannością, na wszystkich trzech stopniach i we wszystkich działach, zarówno ogólna jak szczegółowa, doświadczalna, laboratoryjna jak i teoretyczna. Literatura polska uwzględniona z niesłychaną, miejscami wprost pedantyczną skrupulatnością. Każdy kształcący się, czy nauczający znajdzie tu zarówno co do metody, jak i co do literatury nieocenione wprost wskazówki i rady.

Koroną zaś tego dzieła jest: „Zakończenie“, w którem z ogromnej wyżyny rozpatruje kierunek rozwoju i zagadnienia fizyki w dzisiejszej dobie, wskazuje jak i gdzie szukać tematów do nowych badań, daje przepyszny rzut oka na ewolucyę nowoczesnej fizyki teoretycznej i wskazuje kierunek jej najbliższego rozwoju i najaktualniejszych dzisiaj zagadnień.

Całość tego dzieła, które wymagało wprost kolosalnego nakładu pracy, na co się nieraz żalił, jest w swojej konstrukcyi tak jednolita, w przeprowadzeniu planu tak oryginalna, a w treści tak bogata, że śmiało rzec możemy, że dzieła w tym rodzaju i na tym poziomie nie ma żadna literatura światowa, i że pozostanie ono zawsze dla polskiego piśmiennictwa dydaktyczno naukowego prawdziwą chlubą i dumą.

Sprawa racyonalnego nauczania fizyki leżała Smoluchowskiemu bardzo na sercu. W maju 1917. r. na zjeździe Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych w Krakowie wygłasza referat, „O znaczeniu nauk ścisłych“, *(78)* gdzie z prawdziwie płomienną energią stara się wykazać, jak olbrzymie, nawet społeczno narodowe znaczenie miałoby pogłębienie i racyonalne prowadzenie tych nauk w szkołach średnich. Nauki przyrodnicze — zwraca uwagę — kształcą i rozwijają zdolność obserwacyi, wyrabiają spostrzegawczość i samodzielność sądu, ale aby ten cel spełniły muszą być nauczane nie ex cathedra, ale zdobywane własnoręcznie przez ucznia w pracowni. Wprawiają one we właściwej formie do rozumowania naukowego zarówno indukcyjnego. jak dedukcyjnego, uczą logicznej ścisłości pobudzają do filozoficznego zastanawiania. Ale kształcą one także i etyczną stronę ucznia, bo uznając wyłącznie tylko prawa przyrody były one zawsze antidotum i odtrutką przeciw ślepej wierze w autorytety, przeciw niewolniczej służalczości umysłów, a prowadziły tylko do ubóstwienia prawdy. Czas najwyższy, powiada, żebyśmy się zoryentowali, że żyjemy w XX-tym wieku i żebyśmy sobie kuli broń, którą się walczy w czasach dzisiejszych, t. j. wyszkolenie w naukach ścisłych, znajomość praw przyrody, umiejętności techniczne, obrotność gospodarską.

W pracy nad rozwojem wiedzy przyrodniczej brał Smoluchowski najczynniejszy udział przez całe swoje życie w każdy dostępny mu tylko sposób: Jako badacz i uczony przez swe twórcze prace i publikacye i przez udział w zjazdach naukowych. Jako profesor przez oryginalnie i wzorowo opracowane wykłady (znaczną część tych wykładów słuchacze wydali jako litografowane, częścią przez niego poprawione skrypta), przez prowadzenie seminaryum, laboratoryum, kierowanie pracami samodzielnemi. Brał zawsze żywy i czynny udział w posiedzeniach naukowych Towarzystwa przyrodników Kopernika, którego przez lata 1906 i 1907 jest prezesem. Za jego inicyatywą powstaje w r. 1909 przy tem Towarzystwie Koło fizyków, mające za zadanie współpracę i omawianie najnowszych prac naukowych, którego Smoluchowski jest założycielem, do końca swego pobytu we Lwowie prezesem i najczynniejszym ze wszystkich członkiem. W Krakowie jako dyrektor instytutu umie odrazu skupić koło siebie grono młodych pracowników, których pociąga jego niepospolita indywidualność, a którzy jak wszyscy bez wyjątku jego uczniowie, jak zresztą wogóle wszyscy, którzy się z nim bliżej w pracy zetknęli, nauczyli się prędko nietylko całą duszą go podziwiać ale i całem sercem kochać; niestety, wtedy najpierw wojna, a później już na zawsze śmierć przerywa tę współpracę.

## VI.

Zarówno świat naukowy polski jak i zagraniczny umiał ocenić znaczenie prac Smoluchowskiego: W r. 1901. wyjechawszy jako delegat uniwersytetu lwowskiego do Glasgowa otrzymał tytuł honorowy doktora praw tamtejszego uniwersytetu. W r. 1908. został wybrany członkiem korespondentem Wydziału matematyczno-przyrodniczego Akademii Umiejętności w Krakowie; w tym samym roku otrzymał od Akademii Umiejętności w Wiedniu nagrodę Haitingera za prace teoretyczne nad ruchami Browna. W. r. 1917. zostaje czynnym członkiem Akademii krakowskiej, a Akademia Umiejętności w Getyndze rozważała właśnie jego mianowanie swym członkiem korespondentem, gdy przyszła wiadomość o jego śmierci.

Smoluchowski był w pierwszym rzędzie teoretykiem. Olbrzymi arsenał potrzebnej mu do tego wiedzy matematycznej opanował i ogarnął wszechstronnie i umiał go stosować w sposób prawdziwie mistrzowski. Jakkolwiek jednak w badaniach swych rozwiązywał ze zdumiewającą łatwością problemy matematycznie nadzwyczajnie trudne i zawiłe, to przecież w istocie swego umysłu nie był nigdy abstrakcyjnym matematykiem, ale zawsze tylko całą duszą fizykiem. Dla niego każde najbardziej nawet skomplikowane równanie różniczkowe miało przedewszystkiem fizyczne znaczenie, dla niego bezpośrednio żyło wprost w tych równaniach to co, było zmianą fizycznych wielkości, opartych o realną rzeczywistość, którą matematycznie obrachowywał, ale której realność duszą przyrodnika czuł i intuicyjnie odgadywał. Obdarzony niezwykle krytycznym sądem umiał każdy problem przejrzeć najgruntowniej aż do głębi i z niepospolitą intuicyą umiał przeczuć jego doniosłość w konsekwencyach na przyszłość. Charakterystyczną cechą jego umysłu była wprost fenomenalna jasność i przedziwna zdolność ujmowania problemu czy zjawiska z najprostszej strony. To charakteryzuje wszystkie jego prace teoretyczne zarówno w postawieniu pytania, jak w metodzie rozwiązania, to rzuca się wprost w oczy we wszystkich jego pracach doświadczalnych. Pamiętam jak kiedyś w rozmowie powiedział mi: „Przecież zwyczajnie do badań doświadczalnych w fizyce nie potrzeba kosztownych środków“. I była to prawda, ale prawda w szczególności odnosząca się do niego. To co inni zdobywają niejednokrotnie nadzwyczajną precyzyą skomplikowanych i kosztownych aparatów, on zdobywał prostotą pomysłu przeprowadzenia doświadczenia. I istotnie prostota doświadczeń przez niego wykonanych jest wprost porywająca.

Ale bo też tak prostą jednolitą i naturalną była cała istota tej potężnej indywidualności, jaką był Smoluchowski. Kto miał szczęście znać go bliżej osobiście nie zapomni go nigdy nie tylko jako wielkiego uczonego, ale i jako niepospolitego człowieka. Jak wszechstronnym i głębokim był w swych badaniach, podobnie też był człowiekiem kultury bardzo głębokiej i wszechstronnej. Obdarzony niezwykłemi zdolnościami także i lingwistycznemi opanował klasycznie znajomość czterech języków, w których i prace swe ogłaszał. Miał duże zdolności do ma-

larstwa, bardzo wybitne zdolności i ogromne zamiłowanie do muzyki, był fanatycznym wielbicielem przyrody, którą w nauce tak głęboko uczył poznawać, a której piękno w ulubionych wycieczkach górskich nauczył się z bliska podziwiać i kochać. W życiu towarzyskiem niezwykle ujmujący i uprzejmy pociągał do siebie ludzi dziwną łatwością obejścia a głębokością i subtelnością sądu. Mówiąc z nim czuło się w nim najwyższą i subtelną kulturę zachodu na tle dziwnej prostoty i naturalności prawdziwie wielkiego człowieka.

Dnia 5-go września 1917. r. odszedł z pośród żyjących na zawsze! Tyle energii umysłowych badacza, tyle inicyatywy twórcy, tyle wartości etycznych i kulturalnych człowieka zginęło z nim niepowrotnie! Jakąż olbrzymią szkodę ponosi przez śmierć jego nauka światowa! Kiedy umiera człowiek pracy u schyłku zwykłego życia ludzkiego, to przy całym żalu za tym, co był, widzieć w tem trzeba nieubłaganą konieczność tego, jak się dziać musi. Ale Smoluchowski umarł w 46-ym roku życia, umarł w pełni sił umysłowych, w chwili kiedy dochodził do zenitu działalności, którą pracą swą i zdolnościami rozwinął. Kiedy się patrzy na rozwój jego pracy, która każdego roku wydawała coraz wspanialsze owoce, to ogarnąć każdego musi niepohamowany żal, że nie danem mu było pójść dalej w życie i dalej w tem tempie pracować.

A jakąż stratę przez śmierć jego poniosła cała Polska! Jeśli od półtora wieku złe moce tego świata starają się w każdy możliwy sposób podkopać nasze istnienie, przeszkodzić rozwojowi i podciąć nasze życie, to działalność Smoluchowskiego jest najsilniejszem stwierdzeniem, że starania te jednak były nie zawsze owocne. Bo jeśli wołają dziś w świat, że Polski nie ma, że już nie żyje, to owoce jego pracy są najgłośniejszym przeciw temu protestem, są najwyższem, najpiękniejszem tego zaprzeczeniem, bo najpełniej żyje naród, który wydaje wielkich twórczych ludzi. Ale jeśli dlatego życie Smoluchowskiego było jednym z najcenniejszych narodowych skarbów, to dlategoż właśnie śmierć jego jest najcięższą ogólno narodową stratą i klęską. Zdobycze jego pracy pozostaną w nauce wieczne, zawsze żywe, nigdy niezapomniane, a dla nauki polskiej będą nieśmiertelną chlubą i ozdobą. Że jednak odszedł od nas tak wcześnie, że porzucił tę ukochaną przez siebie a tak szczytną pracę wtedy, gdy tak wiele jeszcze mógł zrobić, że musiał odejść od nas w tych ciężkich chwilach, gdy nam tak nad wszystko potrzeba ludzi prawdziwie dzielnych i wielkich, że nie znajdzie się dziś człowieka, któryby go na tych wyżynach, na których on stał, potrafił zastąpić, przeto śmierć jego pozostanie nam w pamięci jako wielka krzywda, która nas spotkała, a brak jego będziemy odczuwać zawsze jako niczem nie dającą się naprawić, w całem znaczeniu tego wyrazu, niepowetowaną stratę i prawdziwe, dla kultury całego narodu najdotkliwsze nieszczęście.

---

## Spis prac Prof. Dr. Maryana Smoluchowskiego.

1893. 1. Über die innere Reibung in nicht wässerigen Lösungen. Sitzungsber. d. Wien. Akademie. Bd. 102. S. 1136—1140.

1894. 2. Akustische Untersuchungen über die Elastizität weicher Körper.
Sitzungsberichte d. Wien. Akad. Bd. 103. S. 739—772.

1896. 3. Recherches sur la dépendance entre le rayonnement d'un corps et la nature du milieu environnant.
C. R. 123. p. 230-233.

4. Recherches sur une loi de Clausius au point de vue d'une théorie générale de la radiation.
Journal de physique III. 5. p. 488—499.

1897. 5. J. C. Beattie and M. Smoluchowski. Conductance produced in Gases by Röntgen Rays, by Ultra-Violet Light, and by Uranium, and some Consequences thereof.
Phil. Mag. V. 43. p. 418—439.

6. Lord Kelvin J. C. Beattie and M. Smoluchowski. Experiments on the Electrical Phenomena produced in Gases by Röntgen Rays, by Ultra-Violet Light, and by Uranium. Proc. of Roy. Soc. of Edinburgh 21. p. 393—428. See also: L'éclairage électrique 10, p. 207—208, Nature 55. p. 199—200., Nature 55. p. 343—346, Nature 55. p. 472—474, Nature 56, p. 20.

1898. 7. Lord Kelvin, J. C. Beattie and M. Smoluchowski. On the Electrical Equilibrium between Uranium and an Insulated Metal in its Neighbourhood.
Phil. Mag. 45. p. 277—278. Nature 55. p. 447—448. Proc. Roy. Soc. Edinburgh. 22. p. 131—133.

8. Über Wärmeleitung in verdünnten Gasen.
Annalen der Physik. 64. S 101—130.

9. Über den Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen.
Sitzungsber. d. Wien. Akad. 107. S. 304—329.

10. On Conduction of Heat by Rarefied Gases.
Phil. Mag. 46. p. 192—206.

11. Neuere Untersuchungen über Wärmeleitung in Gasen.
Oesterr. Chem. Zeit. 2. S. 385—389.

1899. 12. Etherion, a New Gas?
Nature. 59, p. 223—224.

13. O przewodnictwie cieplnem gazów według dotychczasowych teoryi i doświadczeń.
Prace matem.-fiz. T. 10. s. 33-64.

14. Weitere Studien über Temperatursprung bei Wärmeleitung in Gasen.
Sitzber. d. Wiener Akad. Bd. 108. S. 5—23.

1900. 15. O atmosferze ziemi i planet.
Księga pam. jubil. Uniw. Jagiell. Lwów. S. 1—28.

16. O wynikach nowszych badań nad promieniowaniem.
Kosmos, 25, s. 74—87

1901. 17. Kongres międzynarodowy fizyków odbyty w Paryżu w r. 1900.
Wiadom. mat. 5. s. 80—89.

18. Über die Atmosphäre der Erde und Planeten.
Phys. Zeit. 2. S. 307—313.

19. O nowszych postępach na polu teoryi kinetycznych materyi.
Prace mat.-fiz. 12. s. 112—135.

1903. 20. a) Sur les phénomènes aérodynamiques et les effets thermiques qui les accompagnent.
Bullet. Acad. Cracovie. p. 143—182.

20. b) O zjawiskach aerodynamicznych i połączonych z niemi objawach cieplnych.
Rozprawy Akad. Um. w Krakowie, s. 71—109.

21. a) Contribution à la théorie de l'endosmose électrique et de quelques phénomènes corrélatifs.
Bullet. Acad. Cracovie, p. 182—199.

21. b) Przyczynek do teoryi endosmozy elektrycznej i kilku zjawisk pokrewnych.
Rozprawy Akad. Um. w Krakowie, s. 110—127.

1904. 22. O metodzie podobieństwa dynamicznego i jej zastosowaniach w mechanice cieczy i gazów.
Prace mat.-fiz. 15, s. 115—134.

23. On the principles of Aerodynamics and their Application by the Method of Dynamical Similarity to some special Problems.
Phil. Mag. 7. p. 667—681.

24. Über Unregelmässigkeiten in der Verteilung von Gasmolekülen und deren Einfluss auf Entropie und Zustandesgleichung.
Boltzmann Festschrift. S. 626—641.

25. Sprawozdania z prac polskich na polu fizyki za lata 1901 i 1902.
Kosmos, 29, s. 528—545.

26. a) Sur la formation des veines d'efflux dans les liquides.
Bullet. Acad. Cracovie. 371—384.

26. b) O powstawaniu żył podczas wypływu cieczy.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 144—157.

1905. 27. Zur Theorie der elektrischen Kataphorese und der Oberflächenleitung.
Phys. Zeit. 6. S. 529—531.

1906. 28. a) Sur le chemin moyen parcouru par les molécules d'un gaz et sur son rapport avec la théorie de la diffusion.
Bullet. Acad. Cracovie, p. 202—213.

28. b) O drodze średniej cząsteczek gazu i o jej związku z teoryą dyfuzyi.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 129—139.

29. a) Essai d'une théorie cinétique du mouvement Brownien et des milieux troubles.
Bullet. Acad. Cracov. p. 577—602.

29. b) Zarys teoryi kinetycznej ruchów Browna i roztworów mętnych.
Rozprawy Akad. Um. w Krakowie, s. 257—281.

29. c) Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen.
Annalen der Physik. 21. S. 755—780.

1907. 30. a) Contribution à la théorie du mouvement des liquides visqueux; en particulier des problèmes en deux dimensions.
Bullet. Acad. de Cracovie, p. 1—16.

30. b) Przyczynek do teoryi ruchów cieczy lepkich zwłaszcza zagadnień dwuwymiarowych.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 1—16.

31. Zarys najnowszych postępów fizyki.
Muzeum, 23, s. 43—60, 144—165.

1908. 32. Uwagi o kilku zjawiskach drobinowych, związanych z przypadkowemi odchyleniami od stanu najprawdopodobniejszego.
Spraw. X. Zjazdu lek. i przyr. Lwów, s. 19.

33. a) Théorie cinétique de l'opalescence des gaz à l'état critique et de certains phénomènes corrélatifs.
Bullet. Acad. Cracov. 1057—1075.

33. b) Teorya kinetyczna opalescencyi gazów w stanie krytycznym oraz innych zjawisk pokrewnych.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 179—198.

33. c) Molekular-kinetische Theorie der Opaleszenz von Gasen im kritischen Zustande, sowie einiger verwandter Erscheinungen.
Annalen der Physik, 25. S. 205—226.

34. Kilka uwag o fizycznych podstawach teoryi górotwórczych.
Kosmos. 34, s. 547—579.

35. Lord Kelvin.
Ateneum polskie, s. 212—228.

1909. 36. a) Über ein gewisses Stabilitätsproblem der Elastizitätslehre und dessen Beziehung zur Entstehung von Faltengebirgen.
Bulet. Acad. Cracov. p. 1—20.
36. b) O pewnem zagadnieniu z teoryi sprężystości i o związku jego z wytworzeniem się gór fałdowych.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 223—226.
37. Versuche über Faltungserscheinungen schwimmender elastischer Platten.
Bullet. Acad. Cracov p. 727—734.
38. Some Remarks on the Mechanics of Overthrusts.
Geolog. Mag. 6. p. 204—205.
1910. 39. a) Sur la conductibilité calorifique des corps pulvérisés.
Bullet. Acad. Cracov. p. 129—153.
39. b) O przewodnictwie cieplnem ciał sproszkowanych.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 83—95.
40. Sur la théorie mécanique de l'érosion glaciaire.
C. R. 150. p, 1368—1371.
41. Van der Waalsa teorya stanu ciekłego a zjawiska lepkości.
Kosmos, 35, s. 543—549.
42. a) Contributions to the theory of transpiration, diffusion and thermal conduction in rarefied gases.
Bullet. Acad. Cracov. 295—312.
42. b) Przyczynek do kinetycznej teoryi transpiracyi, dyfuzyi i przewodnictwa cieplnego w gazach rozrzedzonych.
Rozprawy Akad. Um. w Krakowie, s. 209—214.
42. c) Zur kinetischen Theorie der Traspiration und Diffusion verdünnter Gase.
Annalen der Physik 33. S. 1559—1570.
43. Über Wärmeleitung pulverförmiger Körper und ein hierauf gegründetes neues Wärmeisolierungsverfahren.
II. Kongress f. Kälteindustrie in Wien, 1910.
1911. 44. Bemerkung zur Theorie des absoluten Manometers von Knudsen.
Annalen der Physik, 34. S. 182—184.
45. Some Remarks on Conduction of Heat through Rarefied Gases.
Phil. Mag. p. 21. 11—14.
46. a) Über die Wechselwirkung von Kugeln, die sich in einer zähen Flüssigkeit bewegen.
Bullet. Acad. Cracov. 28—39.
46. b) O oddziaływaniu wzajemnem kul poruszających się w ośrodku lepkim.
Rozpr. Akad. Um. w Krakowie, s. 1—3.
47. Ewolucya teoryi atomistycznej.
Rocznik Akad. Um. 1911. Wiadom. Mat. 15, s. 201—216.
48. Zur Theorie der Wärmeleitung in Gasen und der dabei auftretenden Druckkräfte.
Bullet. Acad. Crac. 432—453. Annal. d. Phys. 35. S. 983—1004.
49. Beitrag zur Theorie der Opaleszenz von Gasen im kritischen Zustande.
Bullet. Acad. Cracov. 493—502.
50. Études sur la conductibilité calorifique des corps pulvérisés. (Suite).
Bullet. Acad. Cracov. 548—557.
51. Atomistyka współczesna.
Pamięt. XI. Zjazdu lek. i przyr. w Krakowie, str. 16.
52. O pewnem zagadnieniu kinetycznej teoryi roztworów.
Księga pamiątk. Uniw. lwowskiego, str. 8.
1912. 53. On Opalescence of Gases in the Critical State.
Phil. Mag. 23, p. 165—173.

54. On the practicai applicability of Stokes law of resistance, and the modifications of it required in certain cases.
Intern. Congress of Mathem. Cambridge, 1912. p. 10.
55. Experimentell nachweisbare der üblichen Thermodynamik wiedersprechende Molekularphänomene.
Phys. Zeit. 13. S. 1069—1080.
1913. 56. a) Anzahl und Grösse der Moleküle und Atome.
Scientia, 13. S. 27—44.
56. b) Liczba i wielkość cząsteczek i atomów.
Wiadom. mat. 17. s. 315—329.
57. Einige Beispiele Brown'scher Molekularbewegung unter Einfluss äusserer Krąfte.
Bullet. Acad. Cracov. 418—434.
58. Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej.
Kosmos, 38. s. 355—373.
59. Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Göttinger Vorträge über kinetische Theorie der Materie und Elektrizität. Teubner 1914. S. 89—121.
1914. 60. Elektrische Endosmose und Strömungsströme.
Grätz's Handbuch d. Elektr. u. d. Magn. II. S. 366—428.
61. O fluktuacyach termodynamicznych i ruchach Browna.
Prace mat.-fiz. 25. s. 187—263.
62. Bemerkungen zu der Arbeit B. Baules: „Theoretische Behandlung der Erscheinungen in verdünnten Gasen".
Annalen der Physik. 45. S. 623—624.
63. Studien über Molekularstatistik der Emulsionen und deren Zusammenhang mit der Brown'schen Bewegung.
Sitzber. Wien. Akad. 123. S. 2381—2405.
1915. 64. Über „Durchschnittliche maximale Abweichung" bei Brown'scher Molekularbewegung und Brillouin's Diffussionsversuche.
Sitzber. Wien. Akad. 124. S. 263—276.
65. Molekulartheoretische Studien über Umkehr thermodynamisch irreversibler Vorgänge und über Wiederkehr abnormaler Zustände.
Sitzber. Wiener Akad. 124. S. 339—368.
66. Notiz über die Berechnung der Brown'schen Molekularbewegung bei der Ehrenhaft-Millikanschen Versuchsanordnung. (mit Nachtrag).
Phys. Zeit. 16. S. 318—321,
67. Über die zeitliche Veränderlichkeit der Gruppierung von Emulsionsteilchen und die Reversibilität der Diffusionsercheinuegen.
Phys. Zeit. S. 321—327.
68. Über gewisse Mängel in der Begründung des Entropiesatzess sowie der Boltzmann'chen Grundleichung in der kinetischen Gastheorie.
Bullet. Acad. Cracov. 164—178.
69. Zur Theorie der Zustandesgleichungen.
Annalen der Phys. 48. S. 1098—1102.
70. Über Brown'sche Molekularbewegung unter Einwirkung äusserer Kräfte und deren Zusammenhang mit der verallgemeinerten Diffussionsgleichung.
Annalen der Physik. 48, S. 1103—1112.
1916. 71. Studien über Kolloidstatistik und den Mechanismus der Diffusion.
Kolloid-Zeit. 18. S. 48—54.
72. Theoretisce Bemerkungen über die Viskosität der Kolloide.
Kolloid-Zeit. 18. S. 190—195.
73. Experimentelle Bestätigung der Rayleigh'schen Theorie des Himmelsblaues.
Bullet. Acad. Cracov. p. 218—220.
74. Uwagi o pojęciu przypadku w zjawiskach fizycznych.
Księga pam. Orzechowicza. Tow. pop. nauki Pol. s. 445—458.

75. Drei Vorträge über Diffusion. Brown'sche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidteilchen.
Phys. Zeit. 17. S. 557—571, 587—599.

1917. 76. Versuch einer mathematischen Theorie der Koagulationskinetik kolloider Lösungen.
Zeit f. phys. Chemie, 92. S. 129—168.

77. Poradnik dla samouków. T. II. Fizyka, s. 1—383. Dopełnienia i skorowidz.

78. Referat „O znaczeniu nauk ścisłych".
Muzeum. 32. s. 286—294.

Po śmierci wyszły z druku:

79. Maurycy Rudzki jako geofizyk. (Wspomnienie pośmiertne).
Kosmos. 41. s. 105—119.

80. Karl Olszewski — ein Gelehrtenleben.
Naturwissenschaften, 5. S. 738—740.

81. Kobiety w naukach ścisłych.
Rok polski. 1917. str. 20.

82. Grundriss der Koagulationskinetik kolloider Lösungen.
Kolloid-Zeit. 21. S. 98—104.

Obecnie w druku:

83. Referat o potrzebach pracowni fizycznych.

84. Über den Begriff der Wahrscheinlichkeit und des Gesetzes des Zufalls in der theoretischen Physik.